

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Каченюка Максима Николаевича* на тему: «Формирование структуры и свойств керамических материалов на основе соединений титана, циркония, кремния при консолидации искровым плазменным спеканием», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.6.5. - Порошковая металлургия и композиционные материалы

**Актуальность проблемы.** Среди продукции машиностроения изделия, работающие в парах трения, составляют существенную долю рынка и от срока их эксплуатации зависит надежность оборудования. Поэтому проблема повышения износостойкости деталей триботехнического назначения не теряет остроты на протяжении длительного времени. Повышение износостойкости может быть достигнуто различными методами упрочнения поверхностей, но также в последнее время успешно решается использованием композиционных материалов, сочетающих свойства различных фаз, в том числе, керамических. С этой позиции актуальность работы соискателя не вызывает сомнений, тем более, что для ее решения автор использует реакционный синтез с использованием современного метода искрового плазменного спекания (ИПС), имеющего неоспоримые преимущества перед традиционными методами спекания керамики, такими как горячее прессование (ГП) и реакционное спекание.

**Новизна результатов.** Автором получены новые результаты:

1. Разработана тройная диаграмма фазовых состояний, позволяющая прогнозировать фазовый состав в системе «титан-кремний-углерод».
2. Установлен механизм и условия образования соединений в системе Ti – SiC – C при механоактивации.
3. Определен механизм формирования структуры при ИПС системы «Ti – SiC – C». Показано каталитическое влияние оксида алюминия на синтез карбосилицида титана.
4. Установлено, что формирование аналогичных фазовых составов при ИПС происходит на 100 градусов ниже, чем при ГП. Предложены физические модели, связывающие фазовый состав, пористость и параметры реакционного синтеза фаз в условиях консолидации методами ГП и ИПС.
5. Установлено, при ИПС порошка оксида титана формируется ламеллярная микроструктура.
6. Разработана серия новых композиционных материалов «Ti – SiC – C», полученных методом ИПС, обладающих повышенной износостойкостью.

**Практическая значимость** заключается в разработке технологий получения ряда композиционных износостойких материалов на основе карбида титана и карбосилицида титана, обладающих износостойкостью существенно выше, чем традиционно используемые материалы из карбида кремния, полученного ГП:

1. Новые износостойкие материалы на основе карбида титана, полученные методами ИПС.
2. Износостойкие материалы на основе карбосилицида титана, полученные методом ИПС и технологические рекомендации для их производства
3. Детали «Горцевое уплотнение» центробежных насосов системы охлаждения дизельного двигателя ДТ-50 и технологическая оснастка, технологические рекомендации для их производства методом ИПС.
4. Композиционный керамический материал на основе карбосилицида титана и способ его получения методом ГП.
5. Состав для композиционных электродов-инструментов на основе меди и карбосилицида титана для электроэрозионной обработки металлов с пониженным относительным электроэрозионным износом.
6. Градиентный материал системы "металл-керамика" для формирования керамического теплозащитного слоя на жаропрочных сплавах методом ИПС.
7. Установка ГП для проведения консолидации керамических материалов на основе тугоплавких соединений.

Практическая значимость подтверждена 9 патентами и актами испытаний.

**Достоверность результатов и обоснованность выводов диссертационной работы.** Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и стандартных методик проведения исследований. Основные выводы диссертации



основываются на известных фундаментальных положениях материаловедения, физики, химии, порошковой металлургии.

Материалы диссертации в автореферате изложены логично и ясно. Представленная к защите работа прошла достаточную апробацию на научно-практических конференциях. Результаты отражены в 59 публикациях, из них 36 в изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в Международные библиографические базы цитирования. К несомненным достоинствам работы следует отнести полученный автором большой объем экспериментального материала в сочетании теоретическими расчетами и конструкторскими решениями.

**Замечания:**

1. В автореферате не даны объяснения влиянию значения энергонапряженности при механоактивации (частоты вращения барабана мельницы) на кинетику измельчения шихты.

2. Из автореферата не ясно влияние нанодисперсных добавок карбида титана и карбида кремния на формирование структуры и свойства керамических материалов системы Ti-Si-C.

Представленная работа отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора наук, и её автор, Каченюк Максим Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.6.5. - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

*Сведения об организации*

Полное название организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

Адрес организации: 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

Телефон/факс организации: +7(3412)50-40-55, +7(3412)77-60-55

E-mail организации: info@istu.ru

*Сведения о лице, подписавшем отзыв*

Должность и подразделение заведующий кафедрой «Строительные материалы, механизация и геотехника»,

Ученая степень доктор технических наук Ученое звание профессор (специальность 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы),

Тел.: +7(912)856-66-88

E-mail: gyakov@istu.ru

Дата «08» февраля 2023 г.

\_\_\_ (Яковлев Григорий Иванович)

Даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело Каченюка Максима Николаевича.

\_\_\_ (Яковлев Григорий Иванович)

Подпись доктора технических наук, профессора Яковлева Григория Ивановича заверяю

*руководитель  
управления кафедрой*



*Яковлев Г.И.*